

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

PTO
10530 U.S. 127641
31/98

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

97810596.3

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

A.G. POELS

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE, 11/05/98
LA HAYE, LE



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation

Anmeldung Nr.:
Application no.: **97810596.3**
Demande n°:

Anmeldetag:
Date of filing: **25/08/97**
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
Sulzer Electronics AG
8409 Winterthur
SWITZERLAND
LUST ANTRIEBSTECHNIK GmbH
D-35633 Lahnau
GERMANY
Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:
Magnetgelagerte Rotationsanordnung

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:	Tag:	Aktenzeichen:
State:	Date:	File no.
Pays:	Date:	Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:
H02K7/09, F16C39/06

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

Sulzer Electronics AG, CH-8409 Winterthur
5 LUST Antriebstechnik GmbH, D-35633 Lahnau

Magnetgelagerte Rotationsanordnung

Die Erfindung betrifft eine magnetgelagerte
Rotationsanordnung gemäss dem Oberbegriff von
10 Patentanspruch 1.

Magnetgelagerte Rotationsanordnungen kommen heutzutage in
vielen Anwendungsgebieten zum Einsatz, insbesondere aber
dort, wo mechanisch gelagerte Rotationsanordnungen
15 erhebliche Nachteile aufweisen, so z.B. bei Rührwerken
oder Fördervorrichtungen für hochreine oder biologische
Flüssigkeiten wie beispielsweise Blut. Auch bei
Anwendungen wie Reinraumgebläsen oder Trägervorrichtungen
für Wafer (sogenannte Wafer-Carrier), wo hohe
20 Anforderungen an die Reinheit gestellt werden und es zu
keinerlei Verunreinigungen kommen darf, wie sie z.B.
durch Gase hervorgerufen werden, die aus Schmiermitteln
von mechanischen Lagerungen entweichen können, kommen
magnetgelagerte Rotationsanordnungen zum Einsatz. Bei
25 diesen Anwendungen muss sowohl eine Lagerung des Rotors
(der z.B. als Flügelrad einer Pumpe ausgebildet sein
kann) als auch eine rotatorische Bewegung desselben
möglich sein.

In der EP-A-0,130,541 ist eine magnetgelagerte Rotationsanordnung mit einem Schwungrad beschrieben. Solche Vorrichtungen kommen beispielsweise bei der Steuerung der Orientierung von Satelliten zum Einsatz.

- 5 Sowohl im Rotor wie auch im Stator sind dabei ringförmige Permanentmagneten für die magnetische Lagerung des Rotors vorgesehen, darüber hinaus umfasst der Stator noch Steuerwicklungen, um eventuelle Auslenkungen des Rotors aus der Sollage korrigieren zu können. Für den Antrieb des Rotors sind im Rotor und im Stator noch weitere, separate Antriebsmittel vorgesehen. Dies hat zur Folge, dass die gesamte Konstruktion vergleichsweise aufwendig wird.
- 10 15 Aufgabe der Erfindung ist es, eine magnetgelagerte Rotationsanordnung vorzuschlagen, mit welcher gleichzeitig eine magnetische Lagerung wie auch eine Drehung des Rotors bewirkt werden kann. Die magnetgelagerte Rotationsanordnung soll dabei möglichst wenig aufwendig sein und soll insbesondere auch die eingangs genannten Anwendungen gestatten können.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe durch eine magnetgelagerte Rotationsanordnung gelöst, wie sie durch 25 die Merkmale des Patentanspruchs 1 charakterisiert ist. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Merkmalen der abhängigen Patentansprüche.

30 Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen, schematisch und/oder im Schnitt:

Fig. 1 Ausführungsbeispiele des Rotors der erfundungsgemässen Rotationsanordnung mit einseitig auf dem Rotor angeordneten, axial magnetisierten Permanentmagneten,

Fig. 2 Ausführungsbeispiele des Rotors der
erfindungsmässen Rotationsanordnung mit
beidseitig auf dem Rotor angeordneten, axial
5 magnetisierten Permanentmagneten,

Fig. 3 Ausführungsbeispiele des Rotors der
erfindungsgemässen Rotationsanordnung mit
einseitig auf dem Rotor angeordneten, radial
10 magnetisierten Permanentmagneten,

Fig. 4 Ausführungsbeispiele des Rotors der
erfindungsmässen Rotationsanordnung mit
beidseitig auf dem Rotor angeordneten, radial
15 magnetisierten Permanentmagneten,

Fig. 5 ein Ausführungsbeispiel des Rotors mit beidseitig
auf dem Rotor angeordneten, auf der einen Seite
des Rotors axial magnetisierten, auf der anderen
20 Seite radial magnetisierten Permanentmagneten,

Fig. 6 ein Ausführungsbeispiel des Rotors mit
Vorsprüngen und Einbuchtungen zwischen diesen
Vorsprüngen (Reluktanzläufer),
25

Fig. 7 Ausführungsbeispiele von möglichen Anordnungen
der Permanentmagnete,

Fig. 8 ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemässen
30 Rotationsanordnung mit einem Lagerstator und zwei
Motorstatoren in einer Explosionsdarstellung,

Fig. 9 das Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 8 im Schnitt,

Fig. 10 ein Ausführungsbeispiel analog Fig. 8, im Schnitt, jedoch mit radial magnetisierten Permanentmagneten,

5 Fig. 11 ein Ausführungsbeispiel analog Fig. 8, im Schnitt, jedoch mit radial magnetisierten Permanentmagneten im Rotor und axial magnetisierten Permanentmagneten im Stator,

10 Fig. 12 eine Aufsicht auf den Rotor des Ausführungsbeispiels der Fig. 8,

Fig. 13 eine Darstellung eines Schnitts gemäss der Linie XIII-XIII in Fig. 8,

15 Fig. 14 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Rotationsanordnung (Segmentanordnung),

20 Fig. 15 eine Prinzipdarstellung der Anordnung der U-Kerne und der um diese herum gewickelten Motorwicklungen,

25 Fig. 16 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Rotationsanordnung analog Fig. 14, jedoch mit senkrecht zur Lagerebene angeordneten U-Kernen,

Fig. 17 einen Schnitt entlang der Linie XVII-XVII der Fig. 16,

30 Fig. 18 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Rotationsanordnung mit zwei ringförmigen Eisenrückschlüssen am Rotor, von denen einer mit Vorsprüngen und Einbuchtungen
35 versehen ist,

Fig. 19 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Rotationsanordnung, bei welchem der gesamte Rotor Vorsprünge und Einbuchtungen aufweist und von einem magnetisch schlecht leitenden Ring umgeben ist,

5

10

Fig. 20 ein Ausführungsbeispiel des Rotors, bei welchem der Rotor ein U-förmiges Profil aufweist, teilweise mit Vorsprüngen und Einbuchtungen versehen ist und teilweise von einem magnetisch schlecht leitenden Ring umgeben ist,

15

Fig. 21 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Rotationsanordnung, bei welcher der Motorstator mit einer Scheibenläuferwicklung versehen ist,

20

Fig. 22 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Rotationsanordnung, bei welcher die Drehung des Rotors mit Hilfe eines Antriebs bewirkt wird, der permanentmagnetisch mit dem Rotor koppelbar ist,

25

Fig. 23 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Rotationsanordnung analog Fig. 22, bei welchem jedoch die permanentmagnetische Kopplung des Antriebs mittels radial magnetisierter Permanentmagneten bewirkt wird,

25

30

Fig. 24 eine Anwendung der erfindungsgemäßen Rotationsanordnung in Form einer Pumpe, insbesondere für hochreine oder biologische Flüssigkeiten, speziell für Blut

und

35

Fig. 25 die Anordnung gemäss Fig. 14 (Segmentanordnung), jedoch mit einer anderen Sensorik.

In Fig. 1 erkennt man drei Ausführungsbeispiele eines Rotors 1 der erfindungsgemässen Rotationsanordnung. Die drei Rotoren 1 umfassen jeweils einseitig des Rotors 5 - auf der oberen Fläche eines aus ferromagnetischem Material bestehenden Rings 10 - angeordnete, axial magnetisierte, diskrete Permanentmagnete M. Diese Permanentmagnete erzeugen einen radial aus dem Ring 10 austretenden unipolaren (die Magnete auf dieser Seite des 10 Rotors sind alle in gleicher Richtung magnetisiert) Vormagnetisierungsfluss. Im Bereich des Rings 10 (zwischen den Permanentmagneten M) ist der Vormagnetisierungsfluss in Umfangsrichtung betrachtet recht homogen. Insgesamt ist er jedoch in Umfangsrichtung 15 betrachtet örtlich moduliert, weil zwischen den einzelnen diskreten Permanentmagneten M immer wieder Lücken vorgesehen sind. Durch die Wechselwirkung eines entsprechenden Dreh- oder Wechselfelds mit dem örtlich modulierten unipolaren Vormagnetisierungsfluss wird im 20 Rotor 1 ein Drehmoment erzeugt. Die drei in Fig. 1 gezeigten Rotoren unterscheiden sich im wesentlichen durch die Anzahl der Pole bzw. Polpaare. Der oberste Rotor weist genau vier Pole (zwei Polpaare) auf, während der mittlere Rotor sechs Pole (drei Polpaare) und der 25 untere acht Pole (vier Polpaare) aufweist.

Die in Fig. 2 gezeigten Ausführungsbeispiele des Rotors 1 weisen beidseitig des Rotors (also auf der oberen wie auf der unteren Fläche des Rotors) angeordnete, axial 30 magnetisierte, Permanentmagnete M auf, wobei die Magnetisierungsrichtung der Permanentmagnete M auf der oberen Fläche des Rotors der Magnetisierungsrichtung der Permanentmagnete M auf der unteren Fläche des Rotors entgegengesetzt (sowohl auf der oberen als auch auf der 35 unteren Fläche jedoch stets gleich gerichtet, also unipolar) ist.

Fig. 3 zeigt Ausführungsbeispiele des Rotors 1, bei denen wieder nur einseitig auf dem Rotor Permanentmagnete M angeordnet sind, während bei den Ausführungsbeispielen 5 des Rotors gemäss Fig. 4 beidseitig auf dem Rotor Permanentmagnete angeordnet sind. Im Unterschied zu den Ausführungsbeispielen gemäss Fig. 1 und Fig. 2 sind die Permanentmagnete M aber radial magnetisiert. Außerdem sind zur besseren Führung des magnetischen Flusses 10 zusätzliche ferromagnetische Elemente F (z.B. aus Eisen) vorgesehen.

Fig. 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel des Rotors 1, bei welchem beidseitig auf dem Rotor Permanentmagnete M 15 angeordnet sind, auf der einen Seite (hier: unten) des Rotors axial magnetisierte Permanentmagnete, auf der anderen Seite des Rotors (hier: oben) radial magnetisierte Permanentmagnete. Fig. 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel des Rotors mit Vorsprüngen 12 und 20 Einbuchtungen 11, bei welchem die Modulation des unipolaren Vormagnetisierungsflusses also durch weichmagnetische Anisotropie bewirkt wird. Dieser Typ Rotor ist auch als sogenannter Reluktanzläufer bekannt.

25 In Fig. 7 sind mehrere Ausführungsbeispiele von möglichen Anordnungen der Permanentmagnete dargestellt. Dabei erkennt man, beginnend in der linken Spalte von oben nach unten und anschliessend in der rechten Spalte von oben nach unten:

30 - axial magnetisierte Permanentmagnete M beidseitig auf dem Rotor 1 als auch im Stator 2
- radial magnetisierte Permanentmagnete M einseitig auf dem Rotor 1 als auch im Stator 2
- radial magnetisierte Permanentmagnete M beidseitig auf 35 dem Rotor 1 als auch im Stator 2

- radial magnetisierte Permanentmagnete M beidseitig auf dem Rotor 1 und axial magnetisierte Permanentmagnete M beidseitig im Stator 2
- radial magnetisierte Permanentmagnete M einseitig auf dem Rotor 1 und axial magnetisierte Permanentmagnete M einseitig im Stator 2
- axial magnetisierte Permanentmagnete M beidseitig auf dem Rotor 1 und radial magnetisierte Permanentmagnete M beidseitig im Stator 2
- axial magnetisierte Permanentmagnete M einseitig auf dem Rotor 1 und radial magnetisierte Permanentmagnete M einseitig im Stator 2
- axial magnetisierte Permanentmagnete M im Stator 2 und keine Permanentmagnete auf dem Rotor 1 (Reluktanzläufer), nur eine Steuerwicklung 20 im Stator 2
- axial magnetisierte Permanentmagnete M im Stator 2 und keine Permanentmagnete auf dem Rotor 1 (Reluktanzläufer), zwei Steuerwicklungen 20 im Stator 2
- axial magnetisierte Permanentmagnete M im Stator 2 und im Rotor 1, zwei Steuerwicklungen im Stator 2..
Grundsätzlich können die hier gezeigten Magnetisierungen auch umgekehrt orientiert sein.

In Fig. 8 ist ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Rotationsanordnung in einer Explosionsdarstellung zu erkennen. Bei diesem Ausführungsbeispiel umfasst der Stator neben einem ringförmigen Lagerstator 21, der die magnetische Lagerung des Rotors 1 in einer Lagerebene bewirkt, noch zwei Motorstatoren 22 und 23, von denen der eine Motorstator 22 in einer ersten Motorebene parallel zur Lagerebene auf der einen Seite (hier: oberhalb) des Lagerstators 21 und der andere Motorstator 23 in einer zweiten Motorebene parallel zur Lagerebene auf der anderen Seite (hier: unterhalb) des Lagerstators 21 angeordnet ist.

Betrachtet man die Lagerebene, so erkennt man, dass der Rotor 1 beidseitig des Rotors angeordnete, axial magnetisierte, Permanentmagnete M aufweist. Ferner ist am Rotor 1 ein Sensorring 13 vorgesehen aus einem magnetisch 5 schlecht leitenden, elektrisch jedoch gut leitenden Material (z.B. Aluminium), in welchem im Betrieb Wirbelströme auftreten, die wiederum Magnetfelder erzeugen, welche mit Hilfe von Sensoren S1,S2 im Lagerstator 21 ausgewertet werden. Auf diese (an sich 10 bekannte) Weise kann die Position des Rotors 1 zu jedem Zeitpunkt genau bestimmt und nötigenfalls korrigiert werden.

Der ringförmige Lagerstator 21 weist in radialer Richtung 15 auf den Rotor 1 zuweisende Zähne 210 auf, auf denen einerseits die statorseitigen Permanentmagnete M angeordnet sind und andererseits die Steuerwicklungen 20. Mit Hilfe der Steuerwicklungen kann der Permanentmagnetfluss selektiv verstärkt oder geschwächt 20 werden, sodass bei einer Abweichung des Rotors 1 aus der Sollage der Rotor 1 wieder in die Sollage zurück bewegt werden kann.

Die beiden ringförmigen Motorstatorn 22 und 23 weisen 25 ebenfalls in radialer Richtung nach innen weisende Zähne 220 bzw. 230 auf. Ferner sind sie jeweils mit einer Drehfeldwicklung 221 bzw. 231 versehen, mit der ein entsprechendes Drehfeld erzeugt werden kann, um den Rotor 1 rotatorisch anzutreiben. Solche Drehfeldwicklungen 221 30 bzw. 231 sind an sich bekannt - sie sind daher in Fig. 8 nur schematisch dargestellt. Da die Polzahl bzw. Polpaarzahl von Rotor und Stator übereinstimmen muss, und der Rotor eine Polzahl von vier (zwei Polpaare) beidseitig aufweist, müssen auch die Drehfeldwicklungen 35 so ausgebildet sein, dass ein vierpoliges Drehfeld im Motorstator erzeugt wird. Natürlich ist es auch möglich

einen der beiden Motorstatoren wegzulassen, wodurch sich allerdings das Drehmoment halbiert. In diesem Fall ist es auch sinnvoll, die Permanentmagnete auf der entsprechenden Seite des Rotors wegzulassen. Auf diese 5 Weise lässt sich die Bauhöhe der Anordnung verringern.

Fig. 9 zeigt das Ausführungsbeispiel der Fig. 8 im Schnitt. Man erkennt in Fig. 9 einerseits den Verlauf des von den Permanentmagneten M erzeugten magnetischen 10 Flusses (durchgezogene Linie PF), der von den Permanentmagneten M auf dem Rotor 1 ausgeht, über den Lufspalt in den (aus ferromagentischem Material bestehenden) Motorstator 22 bzw. 23 führt, von dort aus über die Permanentmagneten M im Lagerstator 21 15 weiterführt, durch das ferromagnetische Material (z.B. Eisen) des Lagerstators 21 und dessen Zähne 210 über den Luftspalt zwischen Lagerstator 21 und Rotor 1 zurück in das ferromagnetische Material (z.B. Eisen) des Rotors 1 führt, und sich schliesslich wieder in den 20 Permanentmagneten M des Rotors 1 schliesst. Ein Teil des permanentmagnetischen Flusses geht auch direkt von den Permanentmagneten M auf dem Rotor 1 in die Permanentmagneten M auf dem Lagerstator 21, was in Fig. 9 nicht dargestellt ist.

25 Ferner erkennt man in Fig. 9 im Luftspalt zwischen dem Lagerstator 21 und dem Rotor 1 noch den mit Hilfe der Steuerwicklungen 20 erzeugbaren Steuerfluss (gestrichelte Linie CF) zur Korrektur von Abweichungen des Rotors aus 30 der Sollage. Der geschlossene magnetische Kreis des Steuerflusses ist in Fig. 9 nicht erkennbar, da er in der Lagerebene verläuft und somit prinzipiell in einer Ebene senkrecht zur Ebene des permanentmagnetischen Flusses verläuft (siehe hierzu Fig. 12). Lediglich im Bereich der 35 Zähne 210 und im Luftspalt zwischen Lagerstator 21 und Rotor 1 (und natürlich auch beim Eintritt in den Rotor)

kann eine Verstärkung oder Schwächung des permanentmagnetischen Flusses bewirkt werden, weil hier die beiden ansonsten sich nicht beeinflussenden Felder Komponenten gleicher Orientierung aufweisen. Fig. 10 und
5 Fig. 11 zeigen jeweils Anordnungen analog zu Fig. 8 in einer Darstellung analog zu Fig. 9. Im Unterschied zu Fig. 8 und Fig. 9 sind jedoch die Permanentmagnete M im Rotor 1 und im Lagerstator 21 in Fig. 10 beide radial magnetisiert, in Fig. 11 sind die Permanentmagnete M im
10 Rotor 1 radial magnetisiert, während sie im Lagerstator 21 axial magnetisiert sind.

Fig. 12 zeigt eine Aufsicht auf den Rotor gemäss dem Ausführungsbeispiel von Fig. 8, also eine Aufsicht auf
15 die Lagerebene. In dieser Darstellung erkennt man nun besser den Verlauf des Steuerflusses CF (gestrichelte Linie), der mit Hilfe der Steuerwicklungen 20 erzeugbar ist, um den Rotor 1 bei einer Abweichung aus seiner Sollage wieder in die Sollage zurück bewegen zu können.
20 Es ist klar, dass ein Teil des Steuerflusses auch über die beiden anderen Statorzähne rückgeschlossen ist, was hier aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit jedoch nicht dargestellt ist. Ferner kommt natürlich bei dieser Darstellung der Verlauf des permanentmagnetischen Flusses
25 PF (durchgezogene Linie) nicht besonders zur Geltung, zum Verlauf des permanentmagnetischen Flusses siehe Fig. 9. Schliesslich erkennt man in Fig. 12 noch die beiden zusätzlichen Sensoren S3 und S4, die in der Darstellung gemäss Fig. 8 nicht zu erkennen sind.

30 Fig. 13 zeigt einen Schnitt gemäss der Linie XIII-XIII in Fig. 8, also einen Schnitt in der ersten Motorebene. Man erkennt hier den Motorstator 22 und den Verlauf des von den Permanentmagneten M erzeugten permanentmagnetischen Flusses. Ferner erkennt man auch die in die einzelnen Nuten des Motorstators 22 eingelegte - hier vierpolige -

Drehfeldwicklung 221 (das Drehfeld selbst ist jedoch nicht dargestellt). Wie eine solche Drehfeldwicklung ausgestaltet sein kann, ist dem Fachmann hinreichend bekannt und wird daher hier nicht näher erläutert.

5

In Fig. 14 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Rotationsanordnung gezeigt, es handelt sich hierbei um eine Segmentanordnung. Diese Bezeichnung röhrt daher, dass in den einzelnen Segmenten zwischen den 10 den Permanentmagneten M im Lagerstator 21 auch die Mittel zur Erzeugung des Drehfelds (bzw. Wechselfelds) angeordnet sind, nämlich in Form von U-förmigen Spulenkernen 24 (z.B. Eisenkerne), auf welche Wicklungen 241 gewickelt sind, mit denen sich ein Drehfeld (bzw. ein 15 Wechselfeld) erzeugen lässt. Die U-förmigen Spulenkerne 24 sind dabei quasi in der Lagerebene angeordnet. Der Vorteil ist eine geringe Bauhöhe. Man erkennt, dass es sich bei dem in Fig. 14 gezeigten Ausführungsbeispiel um einen Rotor mit der Polzahl sechzehn (acht Polpaare) 20 handelt. Bei der hier dargestellten Anordnung handelt es sich um eine zweiphasige Anordnung, die vom Prinzip her 2, 4, 6, 8, ... usw. U-förmige Spulenkerne 24 aufweisen kann, hier weist sie vier Spulenkerne 24 auf, von denen zwei dargestellt sind (wegen der Halbschnittdarstellung).

25

In Fig. 15 ist die Anordnung der U-förmigen Spulenkerne 24 und die um diese Spulenkerne 24 herum gewickelten Wicklungen 241 in einer Prinzipdarstellung zu erkennen. Die Wicklungen von einander gegenüber liegenden 30 Spulenkernen werden jeweils von dem gleichen Strom durchflossen, sie können in Reihe oder parallel geschaltet sein. Die beiden Phasen P1 und P2 (es handelt sich um eine zweiphasige Anordnung) sind elektrisch um 90° gegeinander versetzt. Die Polteilung T_p beträgt

35

$$T_p = (\pi \cdot D_i) / 2p$$

wobei D_i den Innendurchmesser eines Kreises bezeichnet,
der die dem Rotor 1 zugewandten Pole der U-förmigen
Spulenkerne 24 berührt, $D_i/2$ also den Radius dieses
5 Kreises darstellt (siehe Fig. 15), und p die Polpaarzahl.

Die Permanentmagnete M auf dem Rotor 1 folgen jeweils um
einen Winkel von 45° versetzt aufeinander (es sind acht
Permanentmagnete M, die gleichmäßig über einen Winkel
10 von 360° verteilt sind). Würde man nun die vier U-förmigen
Spulenkerne 24 ebenfalls in der gleichen Regelmäßigkeit
über den Winkel von 360° verteilt (also um einen
geometrischen Winkel von 90° versetzt zueinander)
anordnen, so käme jeweils genau gleichzeitig ein
15 Permanentmagnet M des Rotors zwischen vor den U-förmigen
Spulenkernen zu liegen. Völlig unabhängig von dem
elektrischen Versatzwinkel der beiden Phasen P1 und P2
kann auf diese Weise kein Anfahren des Rotors 1 erfolgen,
weil bei einem Anwachsen und Abfallen des magnetischen
20 Felds der jeweilige Permanentmagnet auf dem Rotor 1
lediglich stärker oder schwächer von dem jeweiligen U-
förmigen Spulenkerne 24 angezogen bzw. abgestossen würde.
Man müsste den Rotor also zunächst (z.B. mechanisch)
anstossen, um ihn in Drehung versetzen zu können.

25 Damit nun auch ein elektrisches Anfahren des Rotors 1
möglich ist, sind die beiden Phasen P1 und P2 (die
elektrisch ja um 90° versetzt sind) geometrisch
gegeneinander versetzt, und zwar idealerweise so, dass
30 ein Permanentmagnet vollständig vor dem Spulenkerne der
einen Phase zu liegen kommt, wenn ein anderer
Permanentmagnet vor dem Spulenkerne der anderen Phase
genau zur Hälfte zu liegen kommt, sodass mit einer der
beiden Phasen P1 oder P2 immer ein auf den Rotor 1
35 wirkendes Drehmoment erzeugt werden kann. Dieser
geometrische Versatz beträgt

$$(360^\circ/2p) \cdot ((1/m) + k),$$

wobei p für die Polpaarzahl steht (hier also 8), m die Anzahl Phasen bezeichnet (hier 2) und k eine natürliche Zahl bedeutet, hier also prinzipiell der Versatzwinkel $11.25^\circ + k \cdot 22.5^\circ$ beträgt; speziell bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel gilt $k = 4$. Man erkennt in Fig. 15 den Winkel $\alpha = 11.25^\circ$ und den entsprechenden Versatz der Spulenkerne 24. Analog zu diesem Beispiel sind natürlich Anordnungen mit beliebigen Phasenzahlen, insbesondere auch ein- und dreiphasige Anordnungen wie auch beliebige Polpaarzahlen möglich. Auch ist es denkbar, Motorsegmente mit mehreren Nuten pro Polteilung und mit einer näherungsweise sinusförmigen Durchflutungsverteilung einzusetzen. Ebenso sind Luftspaltwicklungen denkbar, um nach Möglichkeit Nutrastmomente zu verhindern.

Fig. 16 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfundungsgemäßen Rotationsanordnung, welches vom grundsätzlichen Prinzip her dem Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 14 entspricht, bei welchem allerdings die Spulenkerne 24 senkrecht zur Lagerebene angeordnet sind. Darüberhinaus sind auch Permanentmagnete M beidseitig des Rotors 1 angeordnet, entsprechendes gilt auch für den Lagerstator 21. Fig. 17 zeigt einen entsprechenden Schnitt entlang der Linie XVII-XVII in Fig. 16. Eine solche Anordnung entspricht einem sogenannten "Transversalsflussmotor", hier als Segmentmotor mit gesplitteter Phase gezeigt.

Fig. 18 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfundungsgemäßen Rotationsanordnung. Bei diesem Ausführungsbeispiel umfasst der Rotor 1 zwei aus einem ferromagnetischen Material bestehende Ringe 10a und 10b, die Vorsprünge 12a und Einbuchtungen 11a (bzw. 12b und

11b, die nicht zu erkennen sind) aufweist (Reluktanzläufer). Zwischen den beiden Ringen 10a und 10b ist ein axial magnetisierter Permanentmagnetring MR angeordnet, der nicht strukturiert ist. Der ringförmigen 5 Lagerstator 21 umfasst ebenfalls zwei Ringe 21a und 21b, wobei zwischen den Zähnen 210a und 210b der beiden Ringe axial magnetisierte Permanentmagnete M angeordnet sind. Ferner erkennt man noch die Steuerwicklungen 20a und 20b (im Prinzip ist nur eine Steuerwicklung nötig), sowie die 10 Sensoren S1 und S2 zur Bestimmung der jeweils aktuellen Position des Rotors. Die Mittel zum Antrieb des Rotors 1 sind in Form von Spulenkernen 24a am oberen Ring 21a des Lagerstators 21 angeformt, wobei um die Spulenkerne 24a herum entsprechende Wicklungen 241a gewickelt sind. 15 Dieses Ausführungsbeispiel zeichnet sich durch einen hohen permanentmagnetischen Vormagnetisierungsfluss aus, was es ermöglicht, den Luftspalt zwischen Stator und Rotor für bestimmte Anwendungen zu vergrössern und dennoch eine zuverlässige magnetische Lagerung zu 20 erreichen.

Das Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 19 unterscheidet sich von dem Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 18 im wesentlichen durch die andere Ausgestaltung des Rotors 1. 25 Dieser umfasst keine Permanentmagnete, sondern ist aus einem ferromagnetischen Material, weist die besagte Struktur mit den Vorsprüngen 12 und den Einbuchtungen 11 auf und ist von einem Sensorring 13 aus einem magnetisch schlecht leitenden, jedoch elektrisch gut leitenden 30 Material (z.B. aus Aluminium) umgeben. Dieses Ausführungsbeispiel ist insbesondere für solche Anwendungen vorteilhaft, bei denen der Rotor 1 nach einer Anwendung weggeworfen bzw. rezykliert werden muss, weil die entsprechende Anwendung dies gebietet (z.B. beim 35 Fördern von Blut). Der Rotor 1 ist nämlich wegen der

nicht vorhandenen Permanentmagnete vergleichsweise einfach und kostengünstig in der Herstellung.

Fig. 20 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Rotors 1, der aus einem ferromagnetischen Material hergestellt ist und ein U-förmiges Profil aufweist. Er ist von einem Sensorring 13 umgeben. Durch das U-förmige Profil weist der Rotor 1 quasi einen oberen Ring 10a und einen unteren Ring 10b auf, die über den Steg miteinander verbunden sind. Während der obere Ring 10a eine Struktur mit Vorsprüngen 12a und Einbuchtungen 11a aufweist, weist der untere Ring 10b keine Struktur auf. Ein derartiger Rotor ist insofern vorteilhaft, als die Rüttelkräfte, die aufgrund der Strukturierung auftreten, reduziert werden, da der untere Ring 10b keine Struktur aufweist. Zudem ist es möglich, mit Hilfe von Hall-Sensoren im Luftspalt des unteren Rings die Position des Rotors zu messen. Ansonsten entsprechen die Vorteile denen des Rotors gemäss Fig. 19. Ausserdem sind die Reluktanzkräfte hinsichtlich einer axialen Lagerung des Rotors grösser (wegen der Nut zwischen den einzelnen "Ringen" des U-förmigen Profils).

Fig. 21 zeigt ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Rotationsanordnung mit einem Lagerstator 21 der bereits beschriebenen Art mit einseitig angeordneten, axial magnetisierten, Permanentmagneten M, sowie mit einem Motorstator 25 mit einer Scheibenläuferwicklung 250. Eine Scheibenläuferwicklung ist eine quasi in einer Ebene angeordnete Flachwicklung zur Erzeugung eines Drehfelds. Scheibenläuferwicklungen sind an sich bekannt, sie können insbesondere eine Multilayerstruktur aufweisen. Die Scheibenläuferwicklung ist vorzugsweise eisenlos, wodurch axiale Zugkräfte auf den Rotor 1 praktisch völlig vermieden werden.

- Fig. 22 zeigt ein Ausführungsbeispiel der erfundungsgemässen Rotationsanordnung, bei welchem die Drehung des Rotors 1 mit Hilfe eines Antriebs bewirkt wird, der permanentmagnetisch mit dem Rotor 1 koppelbar ist. Lagerstator 21 und Rotor 1 entsprechen dabei dem Lagerstator 21 und dem Rotor 1 der Fig. 21. Einzig der Antrieb ist unterschiedlich ausgebildet, er umfasst nämlich hier eine aus ferromagnetischem Material bestehende Scheibe 26, auf der axial magnetisierte Permanentmagnete M angeordnet sind, wobei die Anordnung der Permanentmagnete M auf der Scheibe 26 der Anordnung der Permanentmagnete M auf dem Rotor 1 entspricht. Die Scheibe 26 ist antreibbar mechanisch gelagert. Über die permanentmagnetische Kopplung (hier: permanentmagnetische Axialkopplung) folgt beim Antreiben der Scheibe 26 der Rotor 1 aufgrund von Reluktanzkräften der Drehung der Scheibe 26 synchron.
- Das Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 23 unterscheidet sich von dem Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 22 lediglich dadurch, dass die Permanentmagnete M des Antriebs nicht auf einer ferromagnetischen Scheibe, sondern an einem ferromagnetischen Ring 27 befestigt sind, der seinerseits mit einem Gestänge 28 verbunden ist, welches antreibbar mechanisch gelagert ist. Das Funktionsprinzip ist jedoch gleich: Aufgrund von Reluktanzkräften folgt der Rotor 1 bei einer Drehung des Gestänges synchron.
- Fig. 24 zeigt schliesslich eine Anwendung der erfundungsgemässen Rotationsanordnung in Form einer Pumpe, insbesondere für hochreine oder biologische Flüssigkeiten, speziell für Blut. Der Lagerstator 21 und der Antrieb 26 entsprechen dabei den entsprechenden Teilen des Ausführungsbeispiels gemäss Fig. 22. Der Rotor ist hier als Flügelrad 1a ausgebildet und ist in einem abgeschlossenen Pumpengehäuse 3 aus einem magnetisch

schlecht leitenden Material (z.B. Kunststoff oder Chromstahl) angeordnet. Das Pumpengehäuse 3 weist zwei Anschlussstutzen 30 und 31 auf zum Zuführen bzw. Abführen der zu fördernden Flüssigkeit beispielsweise 5 Blut. Eine solche Pumpe muss nach dem einmaligen Gebrauch regelmässig entsorgt werden. Dies kann auf einfache Weise erfolgen, indem die Zuführleitung und die Abführleitung von den Anschlussstutzen 30 bzw. 31 abgezogen wird und ein neues Pumpengehäuse eingesetzt wird. Die übrige 10 Vorrichtung kann jedoch wiederverwendet werden, darüberhinaus ist der Austausch des Pumpengehäuses einfach und komfortabel durchzuführen.

Ferner soll noch erwähnt werden, dass bei der 15 erfindungsgemässen Rotationsanordnung, insbesondere hinsichtlich ihrer Verwendung als Blutpumpe, etliche Aspekte aus der WO-A-96/31934 ebenfalls denkbar sind. So ist sowohl eine Innenläufer- wie auch eine Aussenläuferanordnung denkbar. Weiterhin kann, wie 20 bereits erwähnt, zwischen dem Stator und dem Rotor eine hermetische Trennstelle (wie z.B. ein Spaltrohr oder ein Gefäss) angeordnet sein. Der Rotor selbst kann mit einem Kunststoff, mit einer Keramik oder mit einem anderen nicht metallischen Werkstoff eingekapselt werden. Ferner 25 kann, wie teilweise auch beschrieben, ein um den Rotor herum angeordneter Ring aus elektrisch gut leitfähigem aber magnetisch schlecht leitfähigem Material vorgesehen sein, der als Sensorring für die Positionsmessung mittels Wirbelstromsensoren dienen kann. Die Bestimmung der 30 jeweiligen Winkelposition des Rotors kann mittels Hallsensoren erfolgen, die ebenfalls als Positionssensoren dienen können, was vorteilhaft bei der Messung durch ein elektrisch leitfähiges Spaltrohr hindurch ist. Der Rotor kann zusammen mit dem ihn 35 umgebenden Gefäss (siehe z.B. die in anhand von Fig. 24 beschriebene Blutpumpe) austauschbar und wegwerfbar bzw.

rezyklierbar sein, um die Sterilität garantieren zu können. Näheres zu all diesen Dingen ist der WO-A-31394 zu entnehmen.

5 Insbesondere auf die Sensorik bei Anwendungen mit einem zwischen dem Stator und dem Rotor angeordneten Gefäß (z.B. das Pumpengehäuse 3 in Fig. 24) soll aber noch einmal eingegangen werden, weil bei der Verwendung bestimmter Materialien (z.B. Chromstahl) für das Gefäß
10 (bzw. für das Pumpengehäuse) die sonst typischerweise für die Bestimmung der Position des Rotors 1 eingesetzten Wirbelstromsensoren relativ schnell an ihre Grenzen stossen. Hier erweisen sich magnetische Sensoren, insbesondere die bereits erwähnten Hall-Sensoren, als
15 besonders vorteilhaft. Wie solche Hall-Sensoren angeordnet sein können, ist in dem Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 25 gezeigt. Das dort dargestellte Ausführungsbeispiel entspricht im wesentlichen dem Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 14 (Segmentanordnung),
20 allerdings sind hier die Sensoren anders angeordnet bzw. ausgebildet.

Grundsätzlich können die Hall-Sensoren im Luftspalt zwischen dem Lagerstator 21 und dem Rotor 1 angeordnet
25 sein. Sie können aber insbesondere auch auf den Zähnen 210 des Lagerstators 21 befestigt (z.B. aufgeklebt) sein, wie dies die Hall-Sensoren SH1,SH2,SH3 sind. Alternativ können sie auch an anderer Stelle im Luftspalt angeordnet werden, wie dies die Hall-Sensoren SH4,SH5 sind. In
30 diesem Fall sind die Hall-Sensoren auf einem separaten Permanentmagneten angeordnet. Bei beiden Varianten werden also die Hall-Sensoren von einer relativ grossen Ruhedurchflutung (bei der aufgeklebten Variante wird diese von den Permanentmagneten im Stator erzeugt, bei
35 der anderen Variante von dem direkt am Sensor befindlichen separaten Permanentmagneten) durchsetzt,

sodass der mögliche Einfluss von Streufeldern, die von den Spulenkernen 24 und deren Wicklungen 241 herrühren, gering ist. Ohne Ruhedurchflutung würden sonst auch durch die vorbeiwandernden Permanentmagnete vergleichsweise 5 hohe Flusschwankungen auftreten. Zur Bestimmung der Position des Rotors in der jeweiligen Richtung eignet sich die Differenz der Signale von zwei geometrisch gegenüberliegenden Sensoren besonders gut, auch wenn vom Prinzip her ein Sensor je Richtung ausreicht.

Patentansprüche

1. Magnetgelagerte Rotationsanordnung mit einem im wesentlichen scheibenförmigen oder ringförmigen magnetisch gelagerten Rotor (1) und mit einem Stator (2), der Mittel zur Erzeugung eines Feldes umfasst, welches eine Drehung des Rotors (1) bewirkt, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor Mittel (M, 11, 12) aufweist, welche einen unipolaren, in Umfangsrichtung betrachtet örtlich modulierten Vormagnetisierungsfluss bewirken.
2. Rotationsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Bewirken des örtlich modulierten unipolaren Vormagnetisierungsflusses Permanentmagnete (M) umfassen, die in Umfangsrichtung verteilt auf dem im wesentlichen scheiben- oder ringförmigen Rotor (1) angeordnet sind.
3. Rotationsanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Permanentmagnete (M) beidseitig des scheiben- oder ringförmigen Rotors angeordnet sind.
4. Rotationsanordnung nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Permanentmagnete (M) eine axiale oder radiale Magnetisierung aufweisen.
5. Rotationsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl auf dem Rotor (1) als auch im Stator (2) Permanentmagnete (M) vorgesehen sind, und dass sowohl die auf dem Rotor (1) vorgesehenen Permanentmagnete (M) als auch die

im Stator (2) angeordneten Permanentmagnete (M) in axialer Richtung magnetisiert sind.

6. Rotationsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl auf dem Rotor (1) als auch im Stator (2) Permanentmagnete (M) vorgesehen sind, und dass sowohl die auf dem Rotor (1) vorgesehenen Permanentmagnete (M) als auch die im Stator (2) angeordneten Permanentmagnete (M) in radialer Richtung magnetisiert sind.
10
7. Rotationsnordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl auf dem Rotor (1) als auch im Stator (2) Permanentmagnete (M) vorgesehen sind, und dass die auf dem Rotor (1) vorgesehenen Permanentmagnete (M) in axialer Richtung magnetisiert sind, während die im Stator (2) angeordneten Permanentmagnete (M) in radialer Richtung magnetisiert sind, oder umgekehrt.
15
20
8. Rotationsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (2) zusätzlich zu den Mitteln zur Erzeugung des Felds, welches die Drehung des Rotors (1) bewirkt, Permanentmagnete (M) umfasst, die so angeordnet sind, dass sie mit den am Rotor (1) vorgesehenen Mitteln zum Bewirken des örtlich modulierten Vormagnetisierungsflusses derart zusammenwirken, dass sie die magnetische Lagerung des Rotors (1) bewirken bzw. verstärken.
25
30
9. Rotationsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die am Rotor (1) vorgesehenen Mittel zum Bewirken des örtlich modulierten unipolaren Vormagnetisierungsflusses mehrere in radialer Richtung weisende Vorsprünge (12) und
35

zwischen diesen Vorsprüngen angeordnete
Einbuchtungen (11) umfassen.

10. Rotationsanordnung nach einem der vorangehenden
5 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Stator
(2) Steuerwicklungen (20) vorgesehen sind, um den
örtlich modulierten unipolaren
Vormagnetisierungsfluss zu steuern.
- 10 11. Rotationsanordnung nach Anspruch 8, dadurch
gekennzeichnet, dass der die magnetische Lagerung
des Rotors bewirkende Stator (2,21) im wesentlichen
ringförmig ausgebildet ist und den ring- oder
scheibenförmigen Rotor umschliesst, wobei
15 Statorebene und Rotorebene zusammenfallen und die
Lagerebene bilden, und dass die Mittel zur Erzeugung
des Felds, welches die Drehung des Rotors (1)
bewirkt, in den Segmenten zwischen den
Permanentmagneten (M) im Stator (2,21) angeordnet
20 sind, sodass die Motorebene, in der die Drehung des
Rotors (1) bewirkt wird, und die Lagerebene, in der
die Lagerung des Rotors bewirkt wird,
zusammenfallen.
- 25 12. Rotationsanordnung nach Anspruch 11, dadurch
gekennzeichnet, dass die in den Segmenten zwischen
den Permanentmagneten (M) angeordneten Mittel zur
Erzeugung des Felds, welches die Drehung des Rotors
bewirkt, U-förmige Spulenkerne (24) mit Wicklungen
30 (241) aufweist, wobei die U-förmigen Spulenkerne
(24) in der Lagerebene angeordnet sind.
13. Rotationsanordnung nach Anspruch 11, dadurch
gekennzeichnet, dass die in den Segmenten zwischen
35 den Permanentmagneten (M) angeordneten Mittel zur
Erzeugung des Felds, welches die Drehung des Rotors

(1) bewirkt, U-förmige Spulenkerne (24) mit Wicklungen (241) aufweist, wobei die U-förmigen Spulenkerne (24) senkrecht zur Lagerebene angeordnet sind.

5

14. Rotationsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der die magnetische Lagerung des Rotors bewirkende Stator (2,21) im wesentlichen ringförmig ausgebildet ist und den ring- oder

10 scheibenförmigen Rotor (1) umschliesst, wobei die Statorebene und die Rotorebene zusammenfallen und die Lagerebene bilden, und dass der Stator darüberhinaus noch mindestens einen weiteren ring-

15 oder scheibenförmigen Motorstator (22,23) umfasst, der in einer Motorebene parallel zur Lagerebene angeordnet ist.

15. Rotationsanordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Permanentmagnete (M)

20 beidseitig auf dem Rotor (1) angeordnet sind, und dass der Stator zusätzlich zu dem die magnetische Lagerung des Rotors bewirkenden ringförmigen Stator (21) zwei weitere ringförmige Motorstatorn (22,23) umfasst, von denen ein Motorstator (22) in einer zur Lagerebene parallelen ersten Motorebene auf der einen Seite des Lagerstators und der andere (23) in einer zweiten Motorebene parallel zur Lagerebene angeordnet sind.

25 30 16. Rotationsanordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator zusätzlich zu dem die magnetische Lagerung des Rotors (1) bewirkenden ringförmigen Stator (21) einen weiteren scheibenförmigen Motorstator in einer zur Lagerebene parallelen Motorebene umfasst, wobei dieser Motorstator (25) als Scheibenläuferstator

ausgebildet ist und eine vorzugsweise eisenlose Scheibenläufer-Wicklung (250) zur Erzeugung des Felds für die Drehung des Rotors (1) aufweist.

- 5 17. Rotationsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Erzeugung des Felds, welches die Drehung des Rotors (1) bewirkt, einen rotierbaren, magnetisch mit dem Rotor (1) koppelbaren Antrieb (26) umfassen, dessen Drehachse 10 mit der Drehachse des Rotors (1) zusammenfällt.
- 15 18. Rotationsanordnung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Antrieb (26) in axialer Richtung magnetisierte Permanentmagnete (M) umfasst.
19. Rotationsanordnung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Antrieb (26) in radialer Richtung magnetisierte Permanentmagnete (M) umfasst.
- 20 20. Fördervorrichtung, insbesondere für hochreine oder biologische Flüssigkeiten, speziell Blutpumpe, mit einer Rotationsanordnung gemäss einem der Ansprüche 1 bis 19.
- 25 21. Rührwerk für einen Bioreaktor, mit einer Rotationsanordnung gemäss einem der Ansprüche 1 bis 19.

Zusammenfassung

Eine magnetgelagerte Rotationsanordnung umfasst einen im wesentlichen scheibenförmigen oder ringförmigen Rotor (1) und einen Stator (2). Der Stator umfasst Mittel zur Erzeugung eines Feldes, welches eine Drehung des Rotors (1) bewirkt. Der Rotor (1) weist Mittel (M,11,12) auf, welche einen unipolaren, in Umfangsrichtung betrachtet örtlich modulierten Vormagnetisierungsfluss bewirken.

10

(Fig. 1)

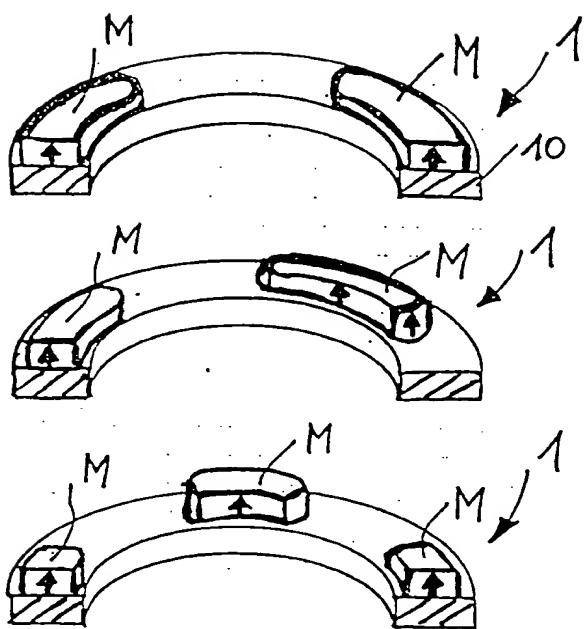


Fig. 1

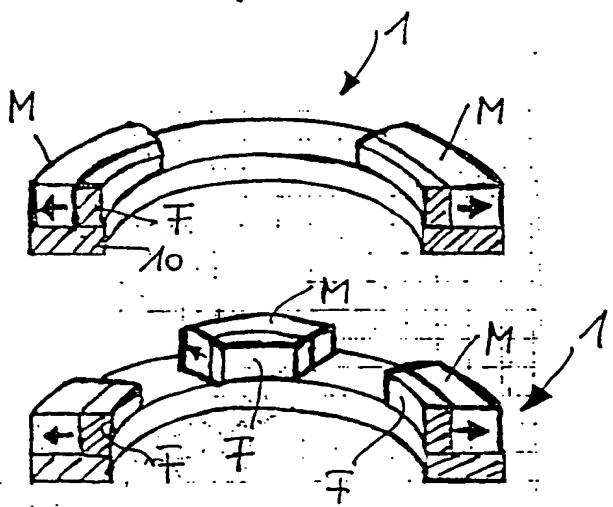


Fig. 3

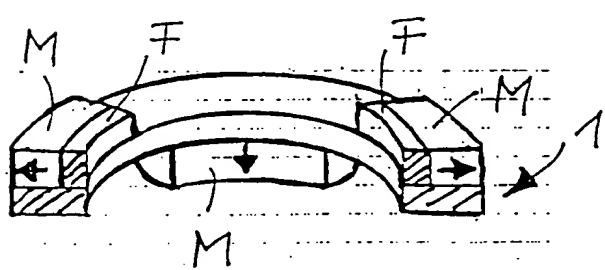


Fig. 5

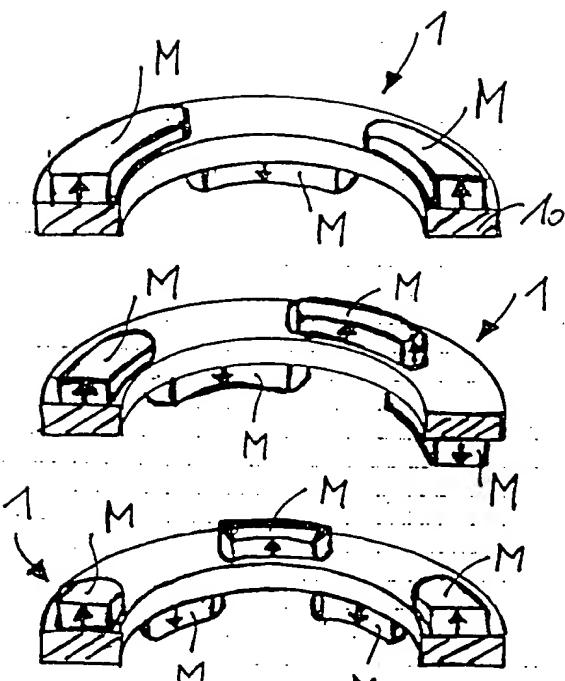


Fig. 2

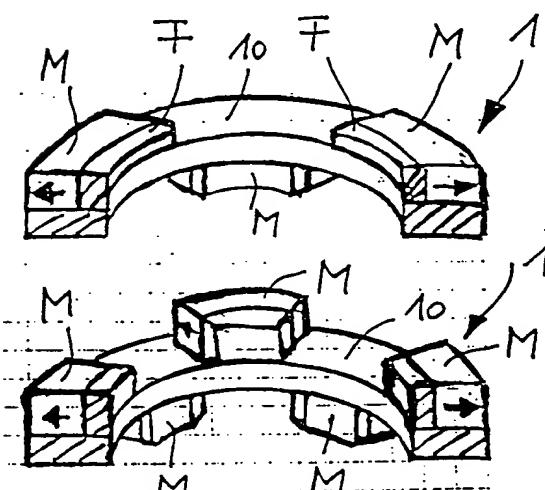


Fig. 4

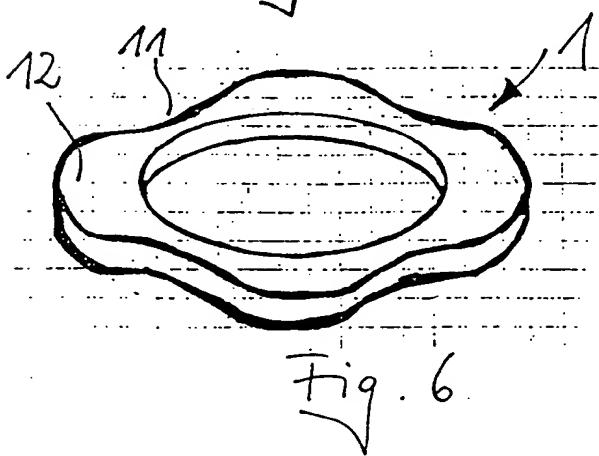


Fig. 6

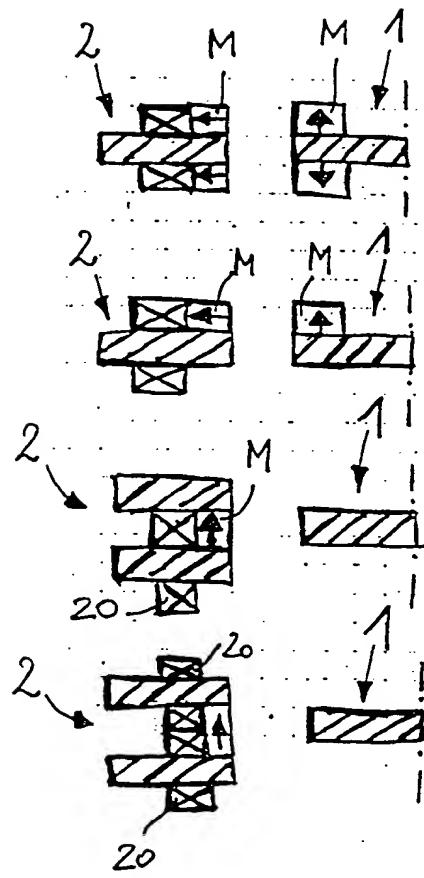
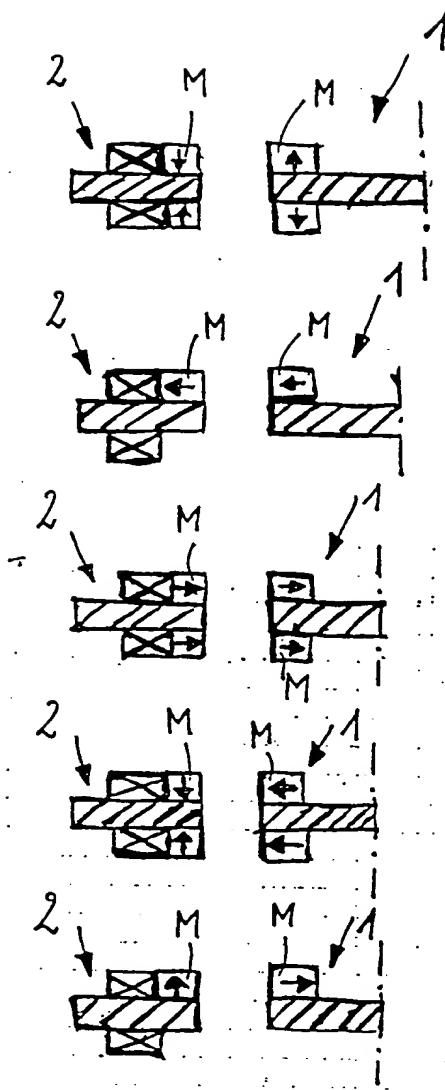


Fig. 7

3/10

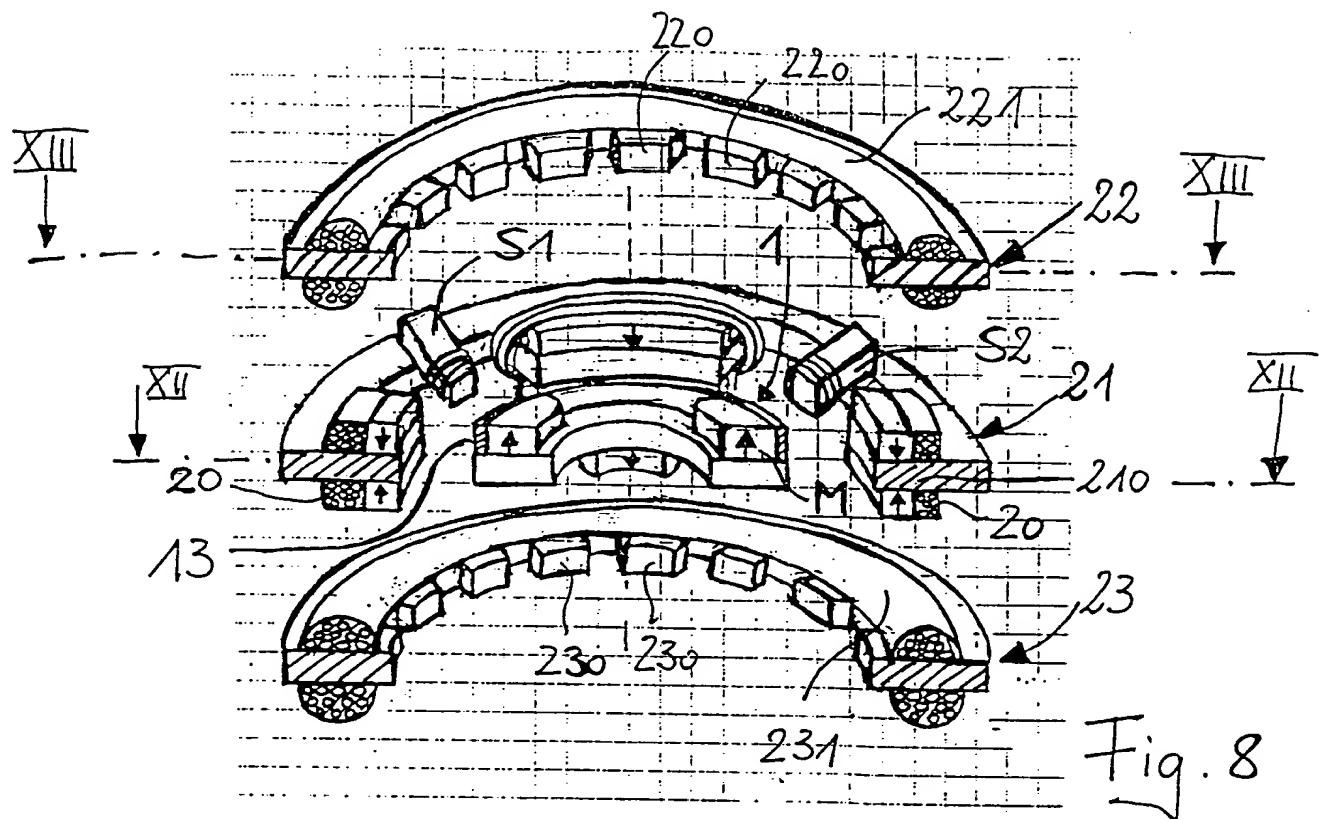


Fig. 8

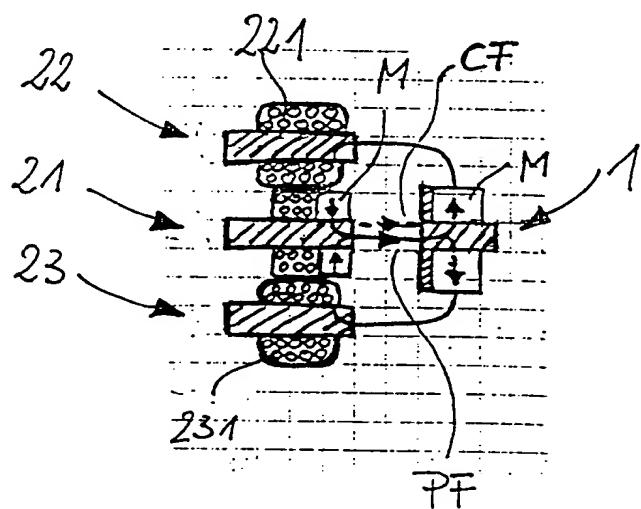


Fig. 9

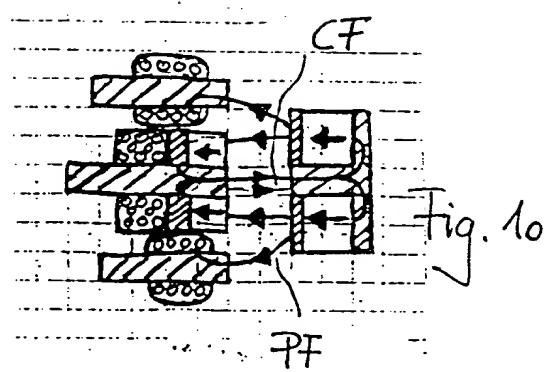


Fig. 10

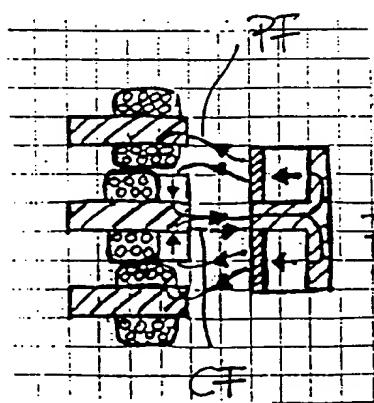


Fig. 11

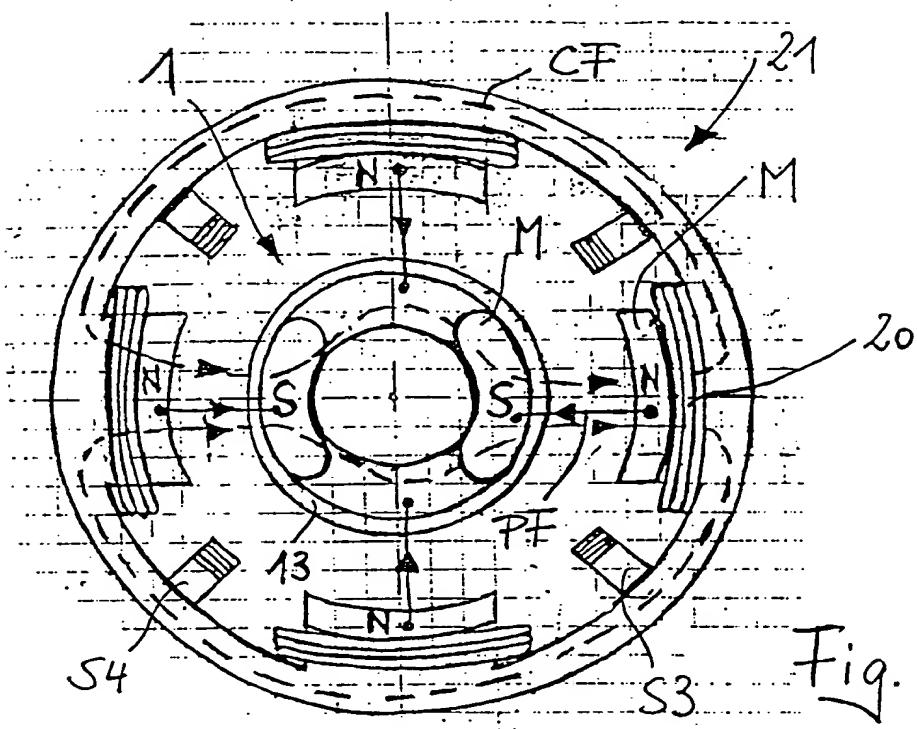


Fig. 12

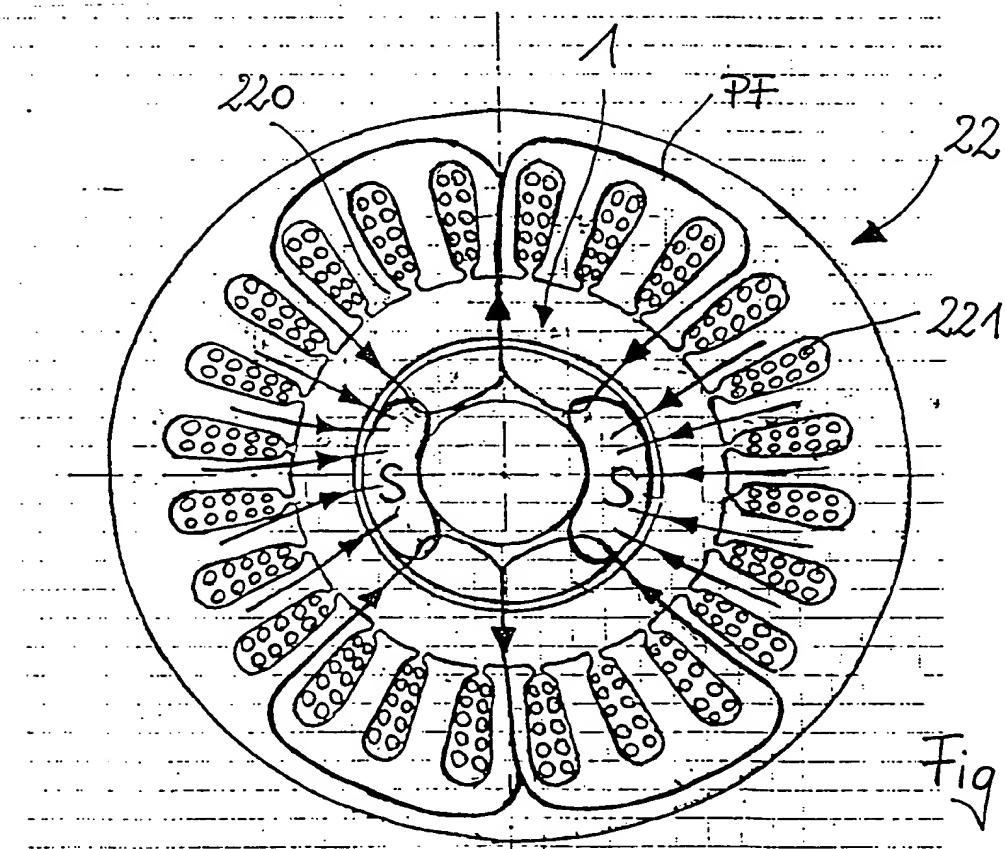
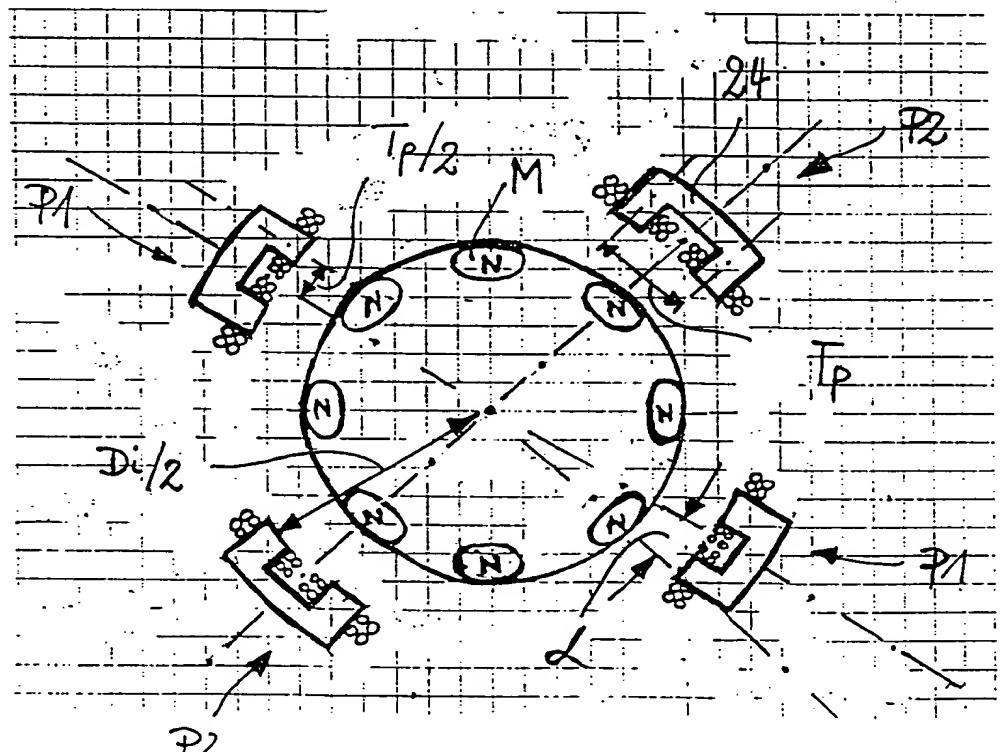
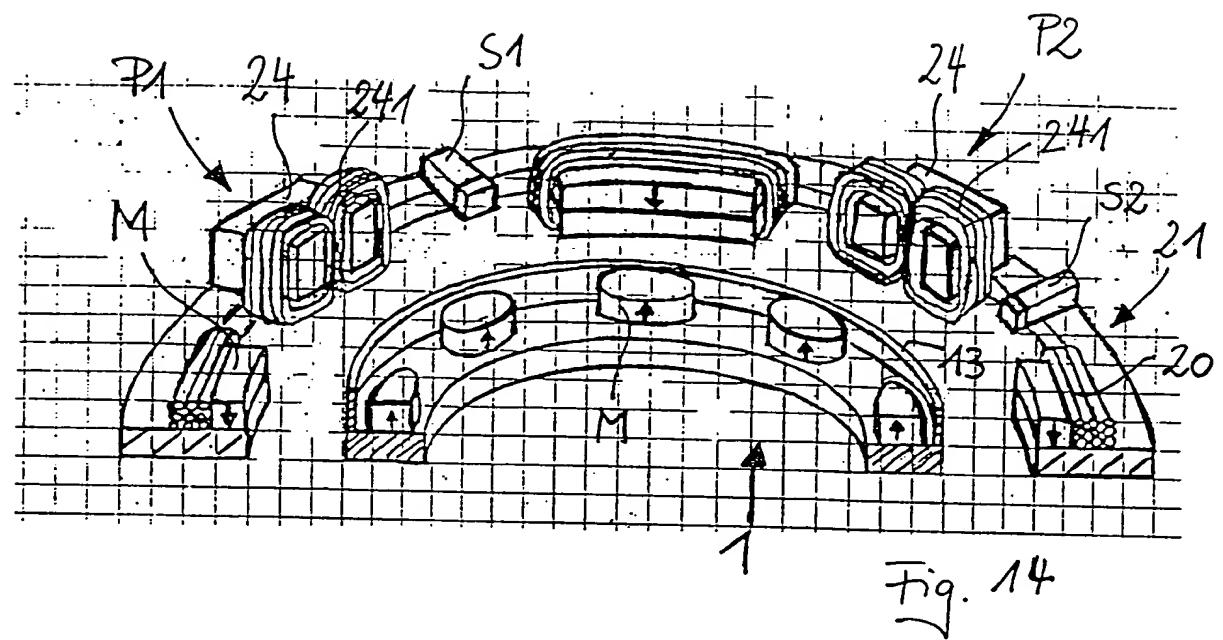


Fig. 13

5/10



6/10

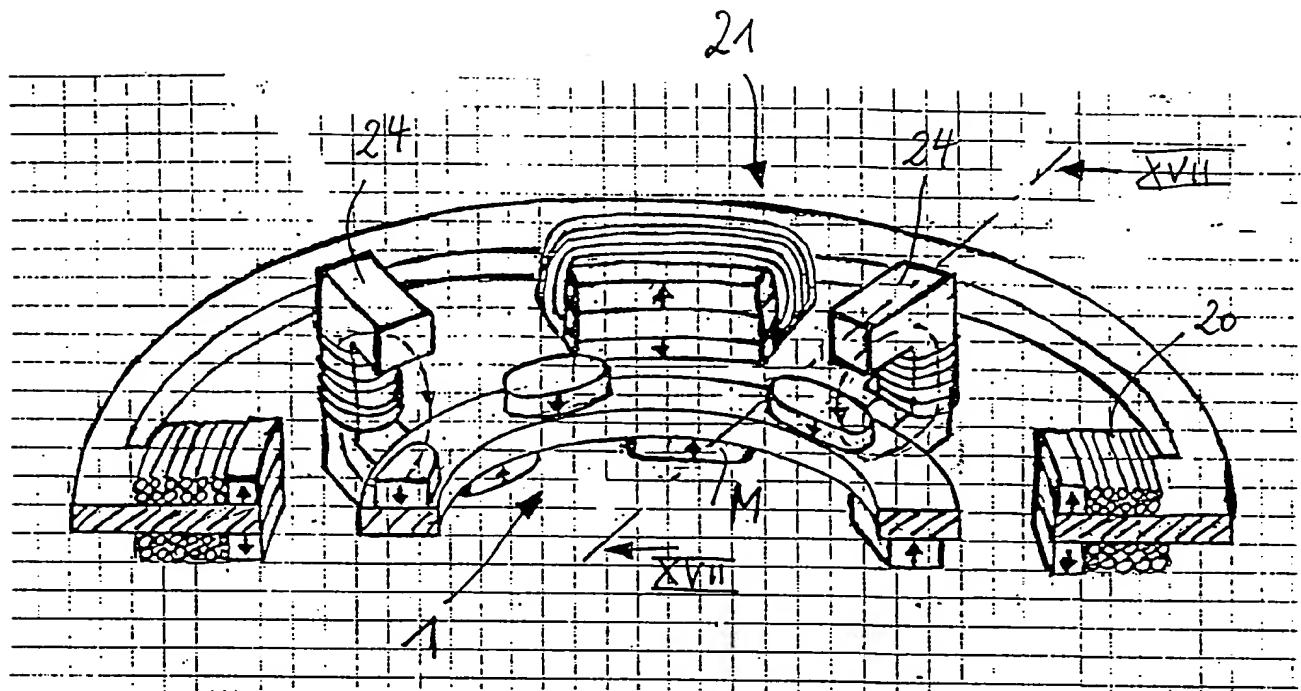


Fig. 16

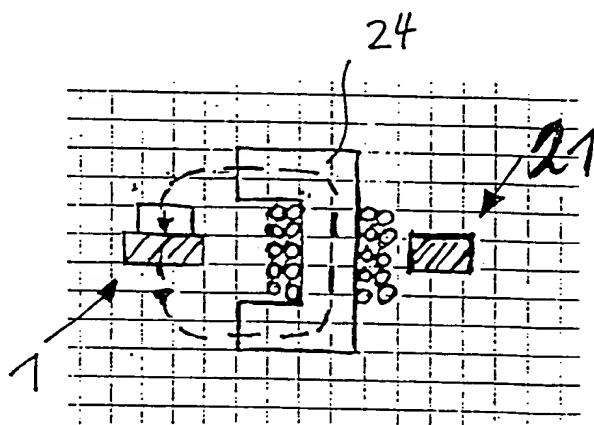
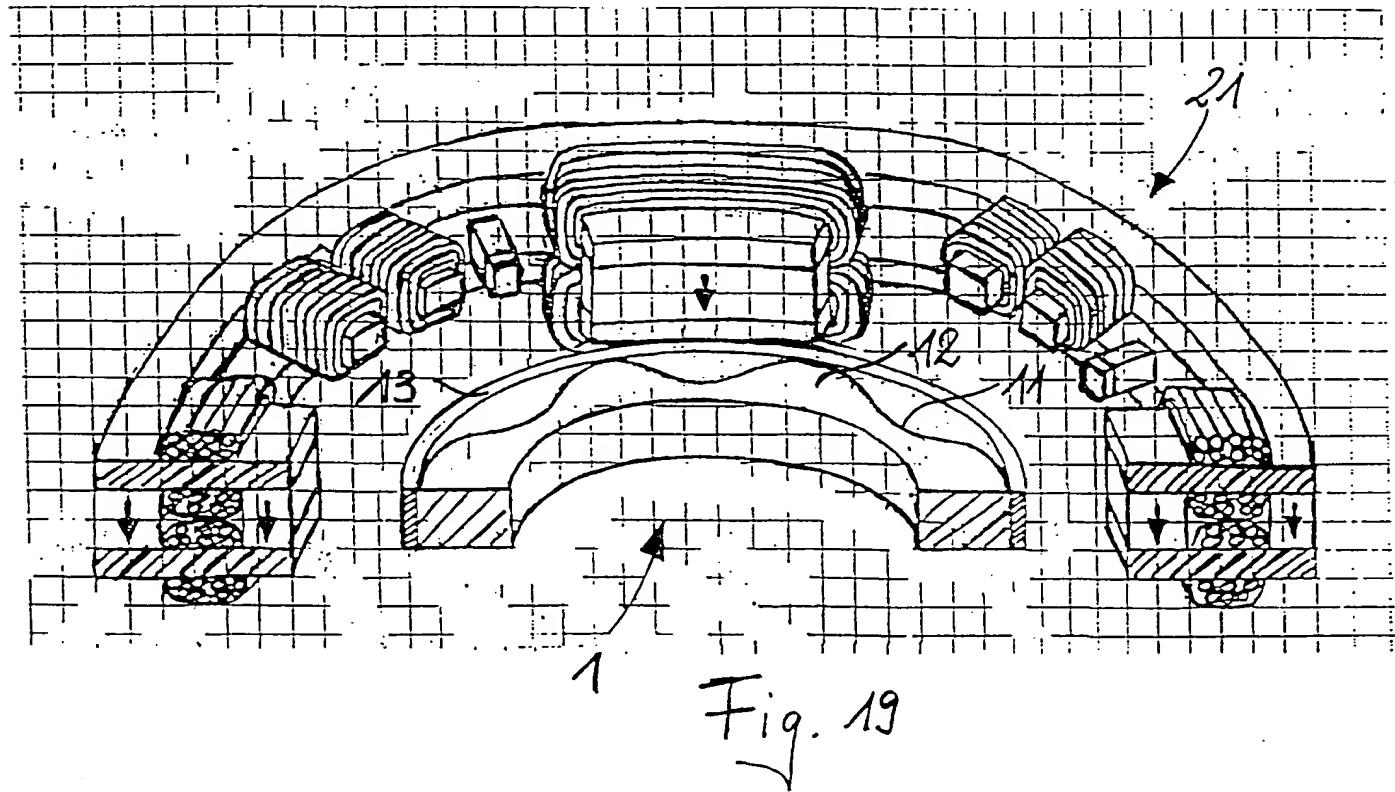
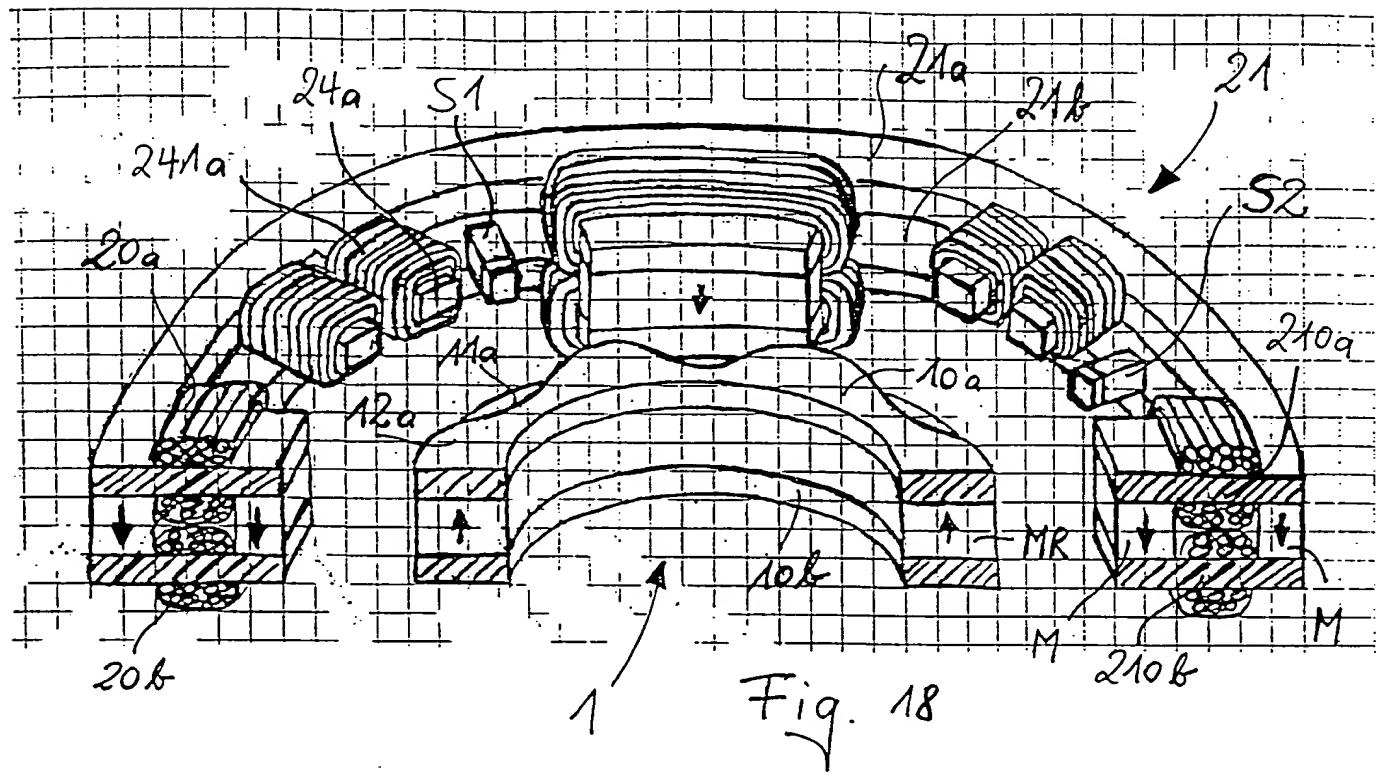
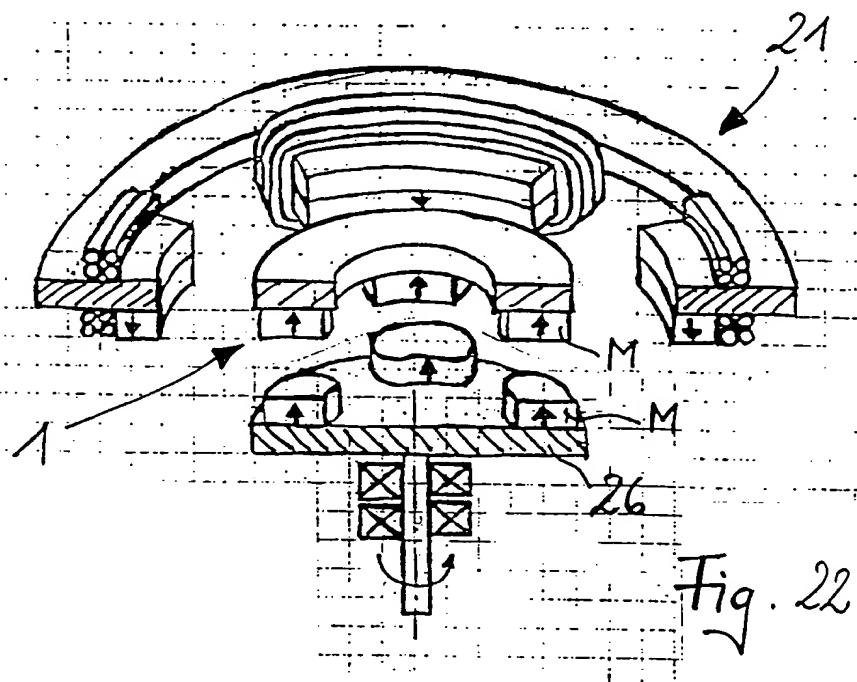
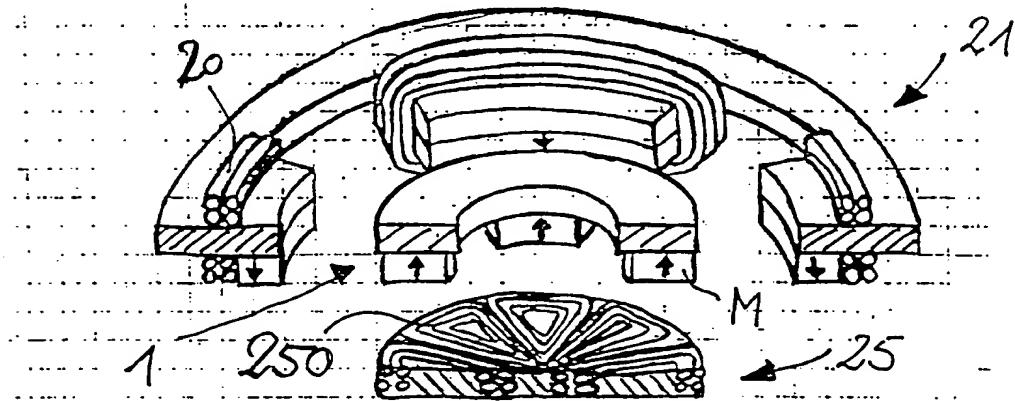
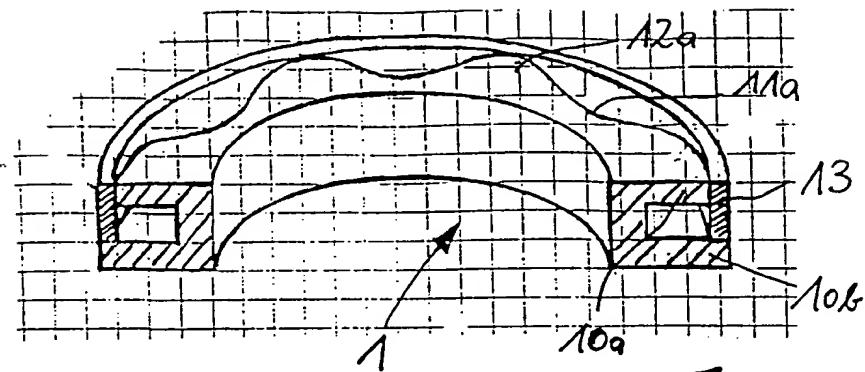


Fig. 17

97/10





9/10

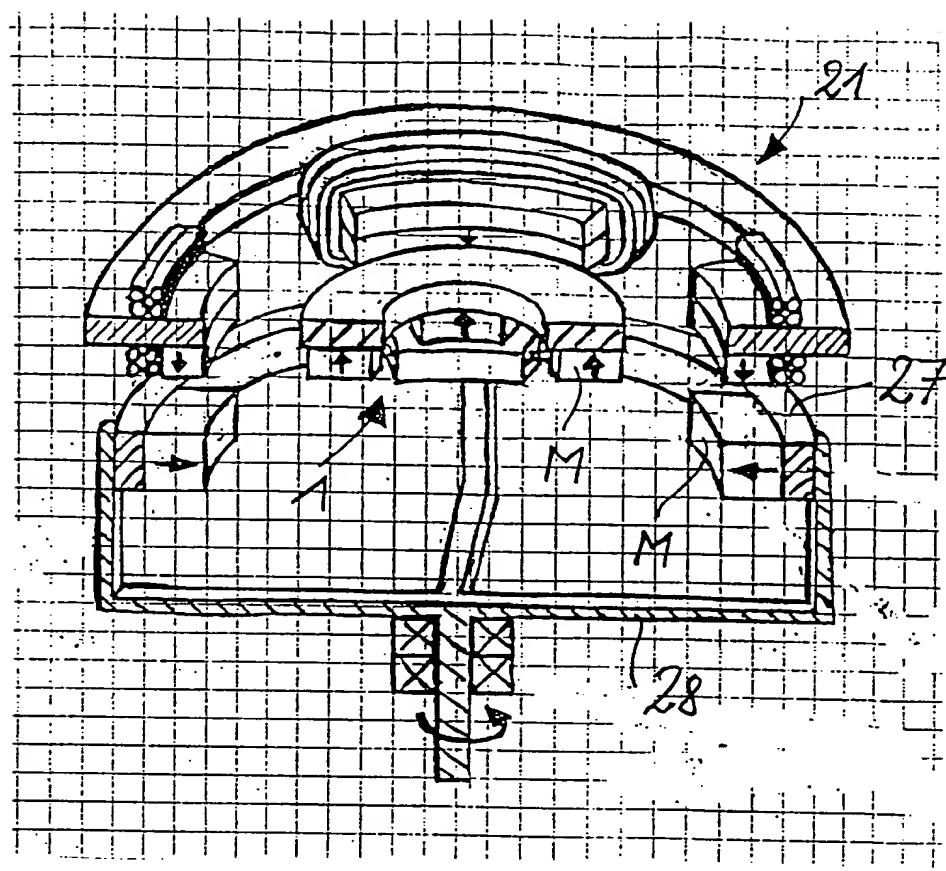


Fig. 23

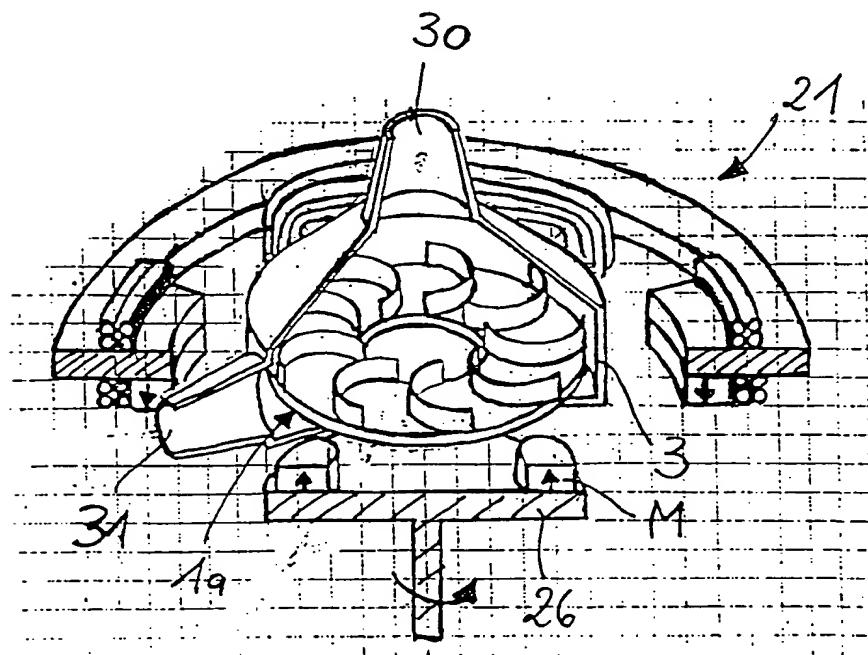


Fig. 24

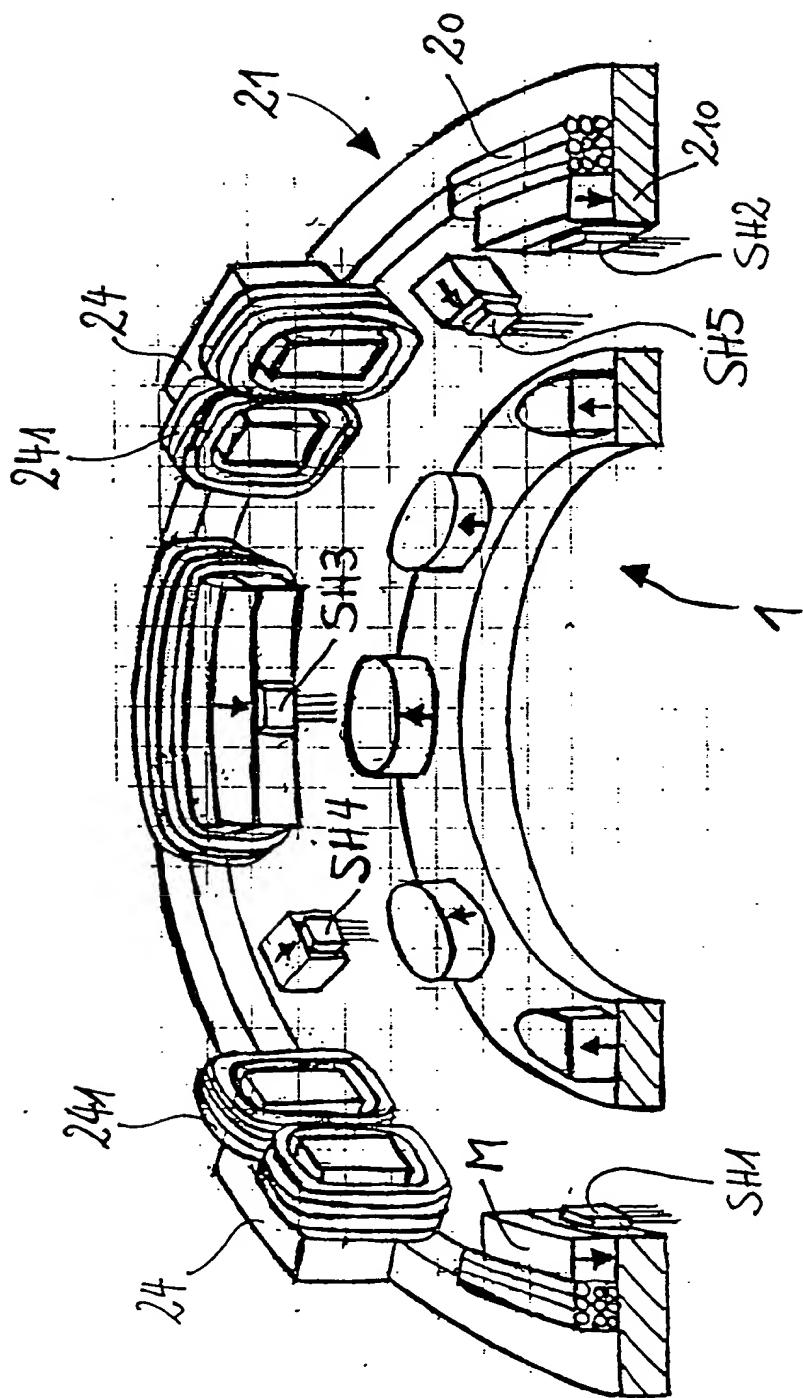


Fig. 25